

早稲田大学 工学部 学生員 橋本 進
 早稲田大学 工学部 正会員 吉川 秀夫
 東洋大学 工学部 正会員 福井 吉孝

河床に障害物(obstacle)がある場合の流れを対象にして、1)障害物を越えた流れが、はく離を生じ、そのはく離渦が二層向の混合に及ぼす影響、2)障害物を越えた流れが障害物の直下で起こす跳水における二層向の混合について、変動分を考慮に入れた流速・密度測定により検討を加えた。

流況

R. Long¹⁾の研究にもある様に、流況はF₁数の如何により様々に変わるが、ここでは、下流側(A-B間)で跳水を引き起こすケースを中心に述べる。

障害物の頂上からはく離した渦は、次の障害物に当たって凹部内へ戻り、そこでの不規則な流れに組み込まれるものと、そのまま流れ去ってしまうものが混在する(写真1)。図2、3は流速と密度の平均と変動を示している(B-2)。測点2で流速は乱れだしているが密度はそれ程でもなく、測点3においては密度も大きい変動を示す様になるが、界面より下層での変動が目立つ。これは、はく離渦は界面を突き抜けて乱れを増進させる程強いものでなく、流下方向の勢いの方がはるかに強いという事を示している。障害物を越えると流れは、下流側の条件により様々な形態をとるが、A-1ではAB間においてもぐり跳水を呈する(写真2)。

エネルギーの変化

流水のもっているエネルギーは、単位幅、単位時間当たりで考えると、

$$(下層) E_L = \int_0^{h_1} \left\{ \rho_0 g z + \rho_0 g h_1 + \rho_0 g (h_1 - z) + \frac{\rho U^2}{2} \right\} U \cdot d z$$

便宜的に、密度・流速を断面内深さ方向一定とすると

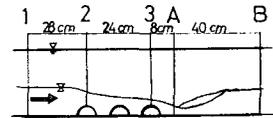


図1 (Case B)

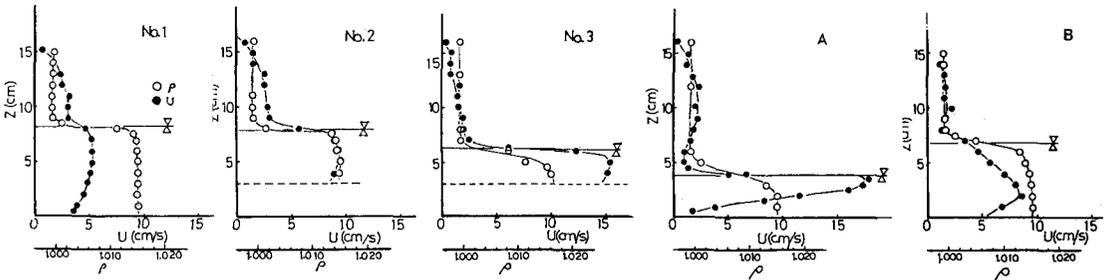


図2; RUN B-2 密度・流速分布 ($Q_{2(im)} = 390 \text{ cm}^3/\text{sec}$ $F_{1A} = 1.77$)

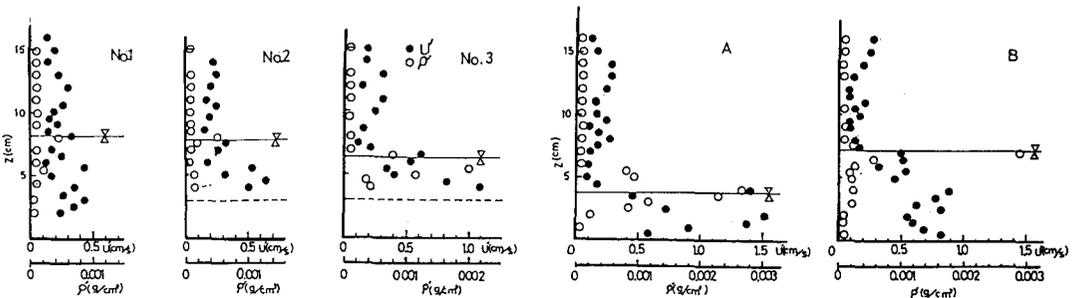


図3; RUN B-2 密度・流速変動

$$E_2 = \left[\frac{1}{2} \rho_1 u_1^2 h_1 + \rho_1 g h_1' h_1 + \rho_1 g h_1'^2 \right] u_1 \quad (1)$$

同様に

$$(上層) \quad E_0 = \left[\frac{1}{2} \rho_0 u_0^2 h_0' + \rho_0 g (h_0 + h_0') h_0' \right] u_0' \quad (2)$$

故に $E_1 = E_2 + E_0$

但し、 h_1 , u_1 , ρ_1 は下層の水深、流速、密度を、 h_0' , u_0' , ρ_0 は上層の水深、流速、密度を表わす。図4は障害物通過時と跳水部の断面方向のエネルギー損失(上流側断面エネルギーに対する比として表わす)を比較したものである。なお、Case Aは障害物を水路横断方向に1列、Case Bは3列に敷いたものを示す。跳水区間の方が障害物通過時のエネルギー損失より卓越していることが判る。

内部跳水における諸性質

共役水深

運動量方程式を断面A, Bで立て整理して行くと F_{iA} についての式は誘導できる(例えば文献2)が、複雑な形をしている。連行を0とした時、この式は簡単な形となる。すなわち、

$$\xi (= h_B/h_A) = (-1 + \sqrt{1 + 8F_{iA}^2}) / 2 \quad (3)$$

但し、 h_A , h_B はそれぞれ跳水前後の下層水深、 $F_{iA}^2 = U_A^2 / (\epsilon g h_A)$ である。図5に F_{iA} と h_B/h_A の関係を示した(▲印は文献3を参照)。A-1, B-1, B-3はもろり跳水状を呈しているなのでその値は大きくなる。すなわち、跳水が生じる断面の下層の上にかぶり部分が存在することから、上流側水深 h_A が実質的増加する結果になり、跳水前後における運動量方程式のつりあいを保つためには下流水深 h_B の増加が必要となるからである。このことは逆に、下流水深が大きいので、下流側の圧力が上流側のそれより卓越しかぶり部が力のつりあいを保つためには存在せざるを得ないと言える。

連行とリチャードソン数

内部フルード数の自乗の逆数で規定される層平均リチャードソン数 R_{iA} と連行量比 $\Delta g/g_A$ を整理したものを図6に示す。 R_{iA} の増加に伴い、連行量比 $\Delta g/g_A$ の値が減少する傾向は、Ellison-Turnerによる R_i と E (連行速度) の関係に類似したものとなっている。我々の実験の範囲 ($R_{iA} \approx 0.1 \sim 1$) では、 $\Delta g/g_A$ はほぼ R_{iA} の -1.7 乗に比例している。

むすび

障害物がある場合の二層流の連行混合をみてきたが、非定常性の微妙な現象を対象としている故、測定器、実験方法等の精密さの要求が苛酷である。その様な連行に焦点を絞るならば、比較的大まかな測定でも、本質を把握しやすいといった意味で、急激な変化をする流れの方が対象としやすい様である。今後はそういった観点に立って内部跳水現象における連行、エネルギー変化機構の解明へ向かう予定である。

参考文献 1) R.R.LONG "Some Aspects of the Flow of Stratified Fluids" Tellus 1954

2) 早川豊生 "混合を伴う内部ジャンプについて" 17回水講 3) 鷲見元宏 "内部跳水について" 37回水講

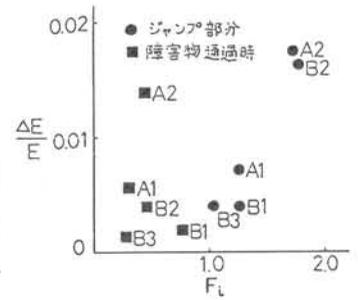


図4 エネルギー損失

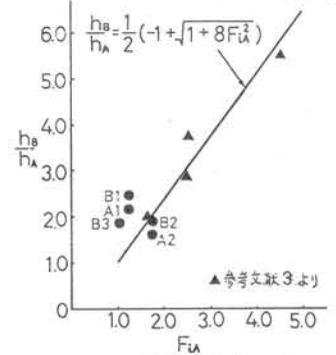


図5 共役水深

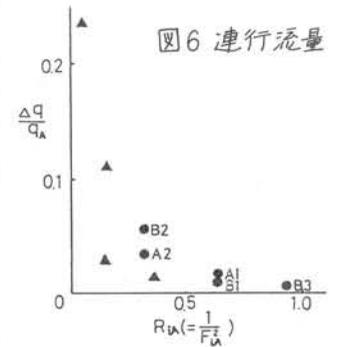


図6 連行流量

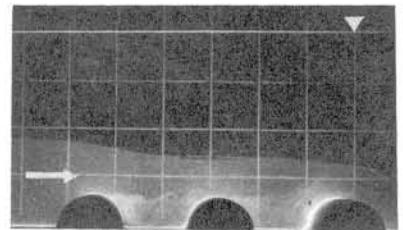


写真1 (RUN B-2)



写真2 (RUN A-1)